



Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦② Erfinder:  
Schelter, Wolfgang, Dr., 91080 Uttenreuth, DE

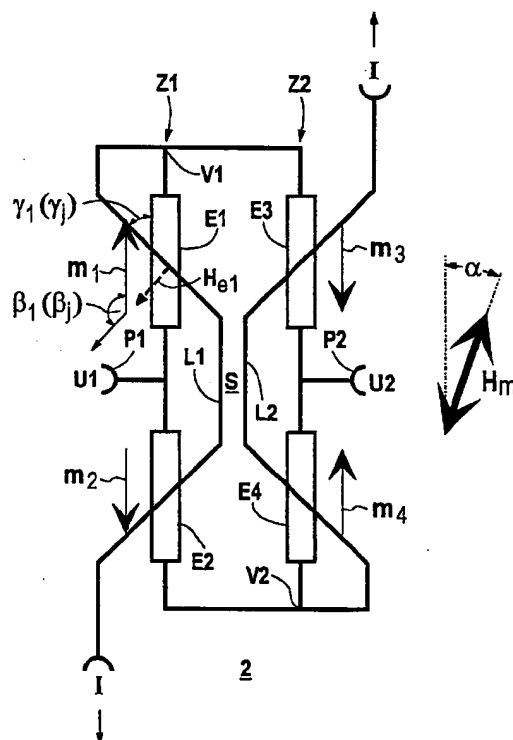
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 44 27 495 A1  
DE 43 00 605 A1  
DE 42 43 358 A1  
DE 42 43 357 A1  
DE 42 32 244 A1  
EP 04 83 373 A1  
WO 94 17 426 A1

SCHRÜFER, E.: Elektrische Meßtechnik, 6. Aufl.,  
1995, S.226-237, Karl Hanser Verlag München;

⑤④ Sensoreinrichtung mit einer Brückenschaltung ihrer einen großen magnetoresistiven Effekt zeigenden  
Brückenelemente

⑤⑦ Die magnetoresistive Sensoreinrichtung (2) weist eine  
Brückenschaltung (S) mit GMR-Brückenelementen (E1 bis  
E4) auf. Zwei stromführende Leiterbahnen (L1, L2) sind  
vorgesehen, die jeweils einem Brückenweig (Z1, Z2) zu-  
geordnet sind, nacheinander die Brückenelemente (E1 bis  
E4) jeweils unter einem vorbestimmten Winkel ( $\gamma_j$ ) schnei-  
den und ein magnetisches Zusatzfeld ( $H_{e1}$ ) hervorrufen  
sowie den gesamten Brückenstrom (I) oder dessen auf  
den jeweiligen Brückenweig (Z1, Z2) entfallenden Teil  
des Stromes führen.



Die Erfindung bezieht sich auf eine Sensoreinrichtung zur Erfassung eines äußeren Magnetfeldes mit zu einer Brückenschaltung verschalteten, einen großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigenden Brückenelementen in Dünnschichtaufbau, wobei die Brücke, über welche ein Brückenstrom zu führen ist, zwei Brückenarme aufweist, in denen sich jeweils mindestens zwei einen gemeinsamen Meßpunkt der Brücke bildende Brückenelemente mit vorbestimmten Magnetisierungen befinden. Eine entsprechende Sensoreinrichtung ist der DE 44 27 495 A1 zu entnehmen.

In Schichten aus ferromagnetischen Übergangsmetallen wie Ni, Fe oder Co und deren Legierungen kann eine Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes von der Größe und der Richtung eines das Material durchdringenden Magnetfeldes gegeben sein. Den bei solchen Schichten auftretenden Effekt nennt man "anisotropen Magnetowiderstand (AMR)" oder "anisotropen magnetoresistiven Effekt". Er beruht physikalisch auf den unterschiedlichen Streuquerschnitten von Elektronen mit verschiedenem Spin und der Spinpolarität des D-Bandes. Die Elektronen werden als Majoritäts- bzw. Minoritäts-Elektronen bezeichnet. Für entsprechende magnetoresistive Sensoren wird im allgemeinen eine dünne Schicht aus einem solchen magnetoresistiven Material mit einer Magnetisierung in der Schichtebene vorgesehen. Die Widerstandsänderung bei Drehung der Magnetisierung bezüglich der Richtung eines über den Sensor geleiteten Stromes kann dann einige Prozent des normalen isotropen (= ohm'schen) Widerstandes betragen.

Ferner sind seit einiger Zeit magnetoresistive Mehrschichtensysteme bekannt, welche mehrere, zu einem Stapel angeordnete ferromagnetische Schichten enthalten, die jeweils durch metallische, nicht-magnetische Zwischenschichten voneinander getrennt sind und deren Magnetisierungen jeweils vorzugsweise in der Schichtebene liegen. Die Dicken der einzelnen Schichten sind dabei deutlich geringer als die mittlere freie Weglänge der Leitungselektronen gewählt. In derartigen Mehrschichtensystemen kann nun zusätzlich zu dem erwähnten anisotropen magnetoresistiven Effekt AMR ein sogenannter "giantmagnetoresistiver Effekt" oder "Giant-Magnetowiderstand (GMR)" auftreten (vgl. z. B. EP 0 483 373 A1). Ein solcher GMR-Effekt beruht auf der unterschiedlich starken Streuung von Majoritäts- und Minoritäts-Leitungselektronen an den Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Schichten und den dazu benachbarten Zwischenschichten sowie auf Streueffekten innerhalb dieser Schichten. Der GMR-Effekt ist dabei ein isotroper Effekt. Er kann erheblich größer sein als der anisotrope Effekt AMR. Im allgemeinen spricht man von einem GMR-Effekt (bei Raumtemperatur), wenn er Werte annimmt, die deutlich über denen von AMR-Einschichtenelementen liegen.

Bei einem ersten Typ von entsprechenden, einem GMR-Effekt zeigenden Mehrschichtensystemen sind benachbarte magnetische Schichten ohne ein äußeres Magnetfeld aufgrund einer gegenseitigen Kopplung magnetisch antiparallel ausgerichtet. Diese Ausrichtung kann durch ein äußeres Magnetfeld in eine parallele Ausrichtung überführt werden. Demgegenüber weist ein zweiter Typ von GMR-Mehrschichtensystemen eine sogenannte Biasschicht bzw. einen Biasschichtteil auf, der magnetisch härter ist als eine magnetisch weichere Meßschicht. Diese beiden Schichten sind durch eine nicht-magnetische Zwischenschicht gegenseitig magnetisch entkoppelt. Ohne ein äußeres Magnetfeld stehen dann die Magnetisierungen der beiden magnetischen Schichten irgendwie zueinander, beispielsweise antiparallel. Unter dem Einfluß eines äußeren Magnetfeldes wird dann

die Magnetisierung der weichmagnetischen Meßschicht entsprechend der Feldrichtung ausgerichtet, während die Ausrichtung der magnetisch härteren Biasschicht unverändert bleibt. Dabei bestimmt der Winkel zwischen den Magnetisierungsrichtungen der beiden magnetischen Schichten den Widerstand des Mehrschichtensystems: Bei einer parallelen Ausrichtung ist der Widerstand klein und bei einer antiparallelen groß. Bei entsprechenden Magnetfeldsensoren wird diese Tatsache ausgenutzt.

Eine Sensoreinrichtung mit vier entsprechenden, zu einer Brückenschaltung verschalteten und deshalb nachfolgend als Brückenelemente bezeichneten Magnetfeldsensorelementen geht aus der eingangs genannten DE 44 27 495 A1 hervor. Dabei weisen in jedem der elektrisch parallelgeschalteten Brückenarme die beiden Brückenelemente Magnetisierungen ihrer Biasschichtteile auf, die zumindest im wesentlichen zueinander antiparallel gerichtet sind. Die Brückenelemente sind dabei vom vorerwähnten zweiten Typ.

Bei dieser bekannten Sensoreinrichtung sind also in jedem Brückenarm der Brücke die festen Magnetisierungen (ihrer Biasschicht oder eines entsprechenden Biasschichtteils) der Brückenelemente in entgegengesetzter Richtung orientiert. Das bedeutet, daß der Widerstand des ersten Brückenelementes in einem Brückenarm z. B. der Beziehung  $R_1 = R_0 + \Delta R \cos \alpha$  folgt, wobei  $\alpha$  der Winkel zwischen der festen Magnetisierung des Brückenelementes und einer von ihm zu messenden Magnetfeldkomponente ist. Entsprechend gilt dann für das zweite Brückenelement dieses Brückenarms:  $R_2 = R_0 - \Delta R \cos \alpha$ , da hier die feste Magnetisierung um  $180^\circ$  gegenüber der Magnetisierung des ersten Elementes gedreht ist. Eine Unterscheidung zwischen Winkeln  $\alpha_i$  und  $\alpha_j$  mit  $\alpha_i + \alpha_j = 360^\circ$  ist folglich nicht möglich. D. h., für den vollen Winkelbereich von  $360^\circ$  wäre es erforderlich, eine weitere Sensoreinrichtung mit einer Brückenschaltung vorzusehen, wobei die Bezugsachsen der beiden Brücken dann senkrecht aufeinanderstehen müßten. Der Aufwand bezüglich einer solchen  $360^\circ$ -Sensoreinrichtung ist folglich dementsprechend hoch.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Sensoreinrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszugestalten, daß der Aufwand bezüglich der Anzahl der Brückenelemente verringert ist, insbesondere wenn eine  $360^\circ$ -Winkeldetektion angestrebt ist.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Bei der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung ergibt sich durch die spezielle Leiterbahnführung über die einzelnen Brückenelemente der Brückenarme an jedem Element ein effektives Meßfeld aufgrund einer Überlagerung des äußeren, zu messenden Feldes mit dem Zusatzfeld der Leiterbahn. Dieses neue effektive Meßfeld ist gegenüber dem äußeren Feld um einen vorbestimmten Winkel gedreht, wobei die Größe und das Vorzeichen dieses Winkels von der Orientierung der jeweiligen stromführenden Leiterbahn und der des Brückenstromes abhängt. Eine derartige Drehung ist die Voraussetzung für eine eindeutige Unterscheidungsmöglichkeit zwischen den Bereichen  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  und  $180^\circ$  bis  $360^\circ$ , ohne daß es zusätzlicher Brückenelemente oder Zuleitungen bedarf.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Modulation der an den Meßpunkten der Brückenschaltung abnehmbaren Brückenspannung vorgesehen wird. Dann läßt sich nämlich ein Meßsignal mit Anteilen gewinnen, die mittels analoger oder digitaler Rechnoperationen eine eindeutige Aussage bezüglich der Winkelabhängigkeit der zu detektierenden Magnetfeldkomponente im gesamten Winkelbereich von  $360^\circ$  liefern.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch

**Fig. 1** die Brückenschaltung einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung mit vier Brückenelementen,

**Fig. 2** die vektorielle Konstruktion eines mit der Sensoreinrichtung detektierten effektiven Meßfeldes sowie

**Fig. 3** eine weitere Sensoreinrichtung mit einer Brückenschaltung.

Dabei sind in den Figuren sich entsprechende Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Bei den für erfindungsgemäße Sensoreinrichtungen geeigneten, nachfolgend als Brückenelemente bezeichneten Sensorelementen wird von bekannten, in Dünnschichttechnik zu erstellenden Ausführungsformen von magnetoresistiven Elementen mit Mehrschichtsystemen, die einen großen magnetoresistiven Effekt GMR zeigen, ausgegangen. Derartige Mehrschichtsysteme sind an sich bekannt (vgl. z. B. die EP 0 483 373 A1 oder die Schriften DE 42 32 244 A1, DE 42 43 357 A1 oder DE 42 43 358 A1).

Ein entsprechendes Brückenelement enthält ein auf einem Substrat aufgebrachtes, für ein GMR-Element typisches Dünnschichtpaket. Dieses Dünnschichtpaket weist unter anderem einen magnetisch härteren Biasschichtteil auf, der eine oder mehrere Schichten umfaßt. Mit diesem Biasschichtteil ist eine feste Magnetisierungsrichtung des Brückenelementes vorgegeben, die sich unter Einwirkung eines äußeren Magnetfeldes, d. h. deren Magnetfeldkomponente in der Schichtebene, nicht ändert.

Ferner weist ein entsprechendes Brückenelement eine magnetisch weichere Meßschicht auf, deren Magnetisierungsrichtung sich nach dem extern angelegten Magnetfeld  $H_m$  ausrichtet. Der Widerstand des Brückenelementes hängt dann von der relativen Orientierung der Magnetisierung der Meßschicht gegenüber der des Biasschichtteils ab. Die Änderung dieses Widerstandes läßt sich ausnutzen, um die Richtung des angelegten Magnetfeldes und so z. B. Drehpositionen oder absolute Positionen zu bestimmen (vgl. auch WO 94/17426 A1). Diese Widerstandsänderung legt die Größe  $M_r$  des magnetoresistiven Effektes fest. Die Größe  $M_r$  ist dabei folgendermaßen definiert:

$$M_r = [R(\uparrow\downarrow) - R(\uparrow\uparrow)] / R(\uparrow\uparrow).$$

Wegen der Feldrichtungsempfindlichkeit der GMR-Brückenelemente stellt der magnetoresistive Effekt  $M_r$  den Unterschied des Widerstandes zwischen der antiparallelen und der parallelen Magnetisierungsausrichtung der Meßschicht bezüglich der Biasschicht bzw. eines entsprechenden Biasschichtteils dar. (Nachfolgend wird von einem Biasschichtteil ausgegangen, der auch durch eine einzige magnetisch härtere Schicht gebildet sein kann). In der vorstehend aufgeführten Gleichung ist die gegenseitige Ausrichtung der Magnetisierung der Meßschicht und des Biasschichtteils durch die Ausrichtung der Pfeile veranschaulicht. Im allgemeinen wird ein magnetoresistiver Effekt als GMR-Effekt bezeichnet, wenn die Größe  $M_r$  mindestens 2% (bei Raumtemperatur) beträgt.

Selbstverständlich kann das magnetoresistive Mehrschichtensystem jedes Brückenelementes in bekannter Weise aus einer Vielzahl von derartigen, sich periodisch wiederholenden Untersystemen aus Meßschicht, Zwischenschicht und Biasschichtteil aufgebaut sein (vgl. z. B. DE 42 32 244 A1).

Eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung 2 umfaßt mindestens vier entsprechende Brückenelemente E1 bis E4, die

alle möglichst weitgehend denselben feldempfindlichen Widerstand haben. Alle Elemente können deshalb insbesondere gleichen Aufbau und gleiche Geometrie besitzen. Vorteilhaft wird eine an sich bekannte Brückenordnung oder -schaltung S mit den vier Brückenelementen erstellt (vgl. z. B. das Buch von E. Schröfer: "Elektrische Meßtechnik", 6. Auflage, 1995, Karl Hanser Verlag München, Seiten 226 bis 237). Die gezeigte Brückenschaltung S enthält zwei Strom- oder Brückenarme Z1 und Z2, die zwischen zwei Verzweigungspunkten V1 und V2 der Brücke parallelgeschaltet sind und zwei unabhängige Halbbrücken darstellen. Über die Brücke soll an den Verzweigungspunkten ein Strom I geführt werden. Jeder Brückenarm Z1 und Z2 enthält zwei in Reihe geschaltete Brückenelemente E1 und E2 bzw. E3 und E4. Zwischen den beiden Elementen jedes Brückenarms liegt ein Meßpunkt P1 bzw. P2 der Brücke. An diesen Meßpunkten kann eine Meßspannung U1 bzw. U2 abgenommen werden. Dabei ist bei der gezeigten Brücke eine Brückenspannungsbildung zwischen den beiden Meßpunkten durch eine einfache Differenzbildung der Spannungen nicht ohne weiteres möglich. Denn jeder eine Halbbrücke darstellende Stromarm ist selbständig zu betrachten; d. h., die Spannungen U1 und U2 sind selbständig abzugreifen.

In **Fig. 1** sind ferner an den einzelnen Brückenelementen E1 bis E4 die ausgerichteten Magnetisierungen  $m_1$  bis  $m_4$  ihrer jeweiligen Biasschicht durch gepfeilte Linien veranschaulicht. Dabei sollen in jedem Brückenarm Z1 und Z2 jeweils die beiden hintereinandergeschalteten Brückenelemente E1, E2 bzw. E3, E4 Magnetisierungen  $m_1$ ,  $m_2$  bzw.  $m_3$ ,  $m_4$  aufweisen, die jeweils zumindest annähernd antiparallel ausgerichtet sind. Darüber hinaus sollen die Magnetisierungen  $m_1$  und  $m_2$  der Biasschichtteile der Elemente E1 und E2 in dem ersten Brückenarm Z1 so verlaufen, daß sie bezüglich der Magnetisierungen  $m_3$ ,  $m_4$  der Biasschichtteile der Elemente E3, E4 in dem anderen Brückenarm Z2 umgekehrt gerichtet sind. D. h.; diagonale Brückenelemente (E1 mit E4 bzw. E2 mit E3) haben gleiche Magnetisierungsrichtungen. Läßt man dann über die Brücke den Strom I fließen, so erhält man Spannungen U1 und U2, die von einem Winkel  $\alpha$  abhängen, der von einer durch die Richtungen der Magnetisierungen  $m_1$  bis  $m_4$  festgelegten, parallel zu diesen Richtungen verlaufenden gemeinsamen Bezugslinie und der zu detektierenden Magnetfeldkomponente des externen Magnetfeldes  $H_m$  in der Schichtebene eingeschlossen wird. Diese Abhängigkeit läßt sich vorteilhaft mit den erfindungsgemäßen Maßnahmen auf einen Winkelbereich bis  $360^\circ$  erweitern.

Um diese Erweiterung des Winkelbereichs zu erreichen, wird gemäß **Fig. 1** nicht wie beim Stand der Technik (vgl. die eingangs genannte DE 44 27 495 A1) ein über die Brücke S zu leitender Strom I direkt an den Verzweigungspunkten V1 und V2 zu- bzw. abgeführt. Vielmehr ist vorgesehen, daß die zu diesen Punkten führenden beiden Leiterbahnen L1 und L2 jeweils über die magnetoresistiven Schichten der Brückenelemente E2 und E1 bzw. E3 und E4 eines Brückenarms Z1 bzw. Z2 isoliert geführt werden. Auf diese Weise wirkt auf das jeweilige Brückenelement eine durch den Strom I hervorgerufene zusätzliche Feldkomponente ein. Diese Feldkomponente ist von der durch Pfeile angedeuteten Orientierung des Stromes in der Leiterbahn und der Ausrichtung der Leiterbahn bezüglich der Magnetisierungsrichtung des jeweiligen Brückenelementes abhängig.

Der Winkel zwischen der Richtung der jeweiligen Magnetisierung der Elemente  $E_j$  und der Richtung dieser Feldkomponente sei allgemein mit  $\beta_j$  (mit  $j = 1 \dots 4$ ) entsprechend der Numerierung der einzelnen Brückenelemente be-

zeichnet. Er wird vorteilhaft größer als  $10^\circ$  gewählt. In der Figur ist nur für das Element E1 unter Zugrundelegung der gewählten Stromrichtung die mit  $H_{e1}$  zusätzlich erzeugte Feldkomponente sowie der von ihr mit der Richtung der Magnetisierung  $m_1$  eingeschlossene Winkel  $\beta_1$  (bzw.  $\beta_j$  mit  $j = 1$ ) veranschaulicht.

Die in Fig. 1 dargestellte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung 2 stellt einen Spezialfall dar, bei dem  $\beta_1 = 135^\circ$ ,  $\beta_2 = 225^\circ$ ,  $\beta_3 = 225^\circ$  und  $\beta_4 = 135^\circ$  gewählt wurde. Es können gegebenenfalls statt der Winkel  $\beta_j = 135^\circ + (j-1) \cdot 90^\circ$  (mit  $j-1 = 0, 1, 2, 3$ ) auch andere, von  $0^\circ$  verschiedene Winkel gewählt werden. Der Winkel zwischen der Magnetisierungsrichtung und der Stromführungsrichtung des Elementes E1 (bzw.  $E_j$ ) sei mit  $\gamma_1$  (bzw.  $\gamma_j$ ) bezeichnet. Er ist in dem gewählten Spezialfall  $\gamma_j = 45^\circ + (j-1) \cdot 90^\circ$  (mit  $j-1 = 0, 1, 2$  oder  $3$ ),  $\gamma_j$  sollte größer  $10^\circ$  sein.

Jedes Brückenelement der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung detektiert dann nicht nur das externe Magnetfeld  $H_m$  in Form eines Meßfeldes  $B_m$ , sondern zusätzlich noch das durch die jeweilige Leiterbahn erzeugte Feld quasi als ein Biasfeld  $B_b$  der Leiterbahn. Das effektive Meßfeld  $B_e$  an einem Brückenelement ist also:  $B_e = B_m + B_b$ . Dieses effektive Meßfeld kann also für jedes Brückenelement gegenüber dem Meßfeld  $B_m$  verschieden sein. Fig. 2 zeigt die vektorielle Konstruktion des effektiven Meßfeldes  $B_e$  für die in den beiden Brückenarmen Z1 und Z2 liegenden Brückenelemente E1 und E3. Wie der Figur zu entnehmen ist, wird für das Element E1 durch die Leiterbahn L1 dem Meßfeld  $B_m$  vektoriell noch das zusätzliche Biasfeld  $B_{b1}$  überlagert. Es ergibt sich so eine Drehung des effektiven Meßfeldes  $B_{e1}$  gegenüber dem Meßfeld  $B_m$  um einen Winkel  $\delta_1$ . In entsprechender Weise ist das effektive Meßfeld  $B_{e3}$  für das Element E3 durch ein zusätzliches Biasfeld  $B_{b3}$  gegenüber dem Meßfeld  $B_m$  um einen Winkel  $\delta_3$  gedreht. Die Größe und Vorzeichen dieses Winkels  $\delta_j$  (mit  $j = 1 \dots 4$ ) hängt dabei von der Orientierung der jeweiligen Leiterbahn und des Brückenstromes ab.

Um mit einer solchen Sensoreinrichtung eine eindeutige Aussage bezüglich der Ausrichtung des Meßfeldes  $B_m$  im gesamten  $360^\circ$ -Winkelbereich machen zu können, ist es besonders vorteilhaft, wenn man nicht eine Gleichstrom-Widerstandsmessung vorsieht, sondern die Brückenspannungen  $U_1$  und  $U_2$  moduliert. Sieht man eine Modulationsspannung  $U_m(t) = U_{m0} \cdot \sin \omega t$  vor, so ergibt sich dann ein Ausgangssignal der allgemeinen Form

$$U_a(t) = U_{a0} + \sum_{i=1}^{\infty} U_i \sin(i\omega t + \varphi_i).$$

Durch analoge oder digitale Rechenoperationen lassen sich beispielsweise die Größen  $U_{a0}$ ,  $U_i$  und  $\varphi_i$  ermitteln. Abweichend von der vorstehend angenommenen periodischen Anregung kann man auch eine Stufenfunktion der Stromstärke anregen und das Ausgangssignal davon abhängig analysieren. Dabei spiegelt  $U_{a0}$  die  $\cos \alpha$ -Abhängigkeit der ursprünglichen Gleichstromanordnung wieder. Die Kenntnis von  $\varphi_i$  ermöglicht dann die eindeutige Unterscheidung zwischen den Bereichen  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  und  $180^\circ$  bis  $360^\circ$ .

Bei der allgemeinen Fourierentwicklung ist nur die Grundwelle für den Fourierindex  $i = 1$  von Interesse. Entscheidend ist dabei die Phasenlage. Bei einer graphischen Darstellung von  $\varphi_1$  in Abhängigkeit vom Winkel  $\alpha$  ist dann die Lage der Wendepunkte der erhaltenen  $\varphi_1$ -Kurve eine Funktion der Feldstärke des Meßfeldes  $H_m$ , der Stromstärke  $I$  sowie des Aufbaus der Brückenelemente (hier insbesondere vom Abstand der Leiterbahn von der GMR-Schicht).

Bei der Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sen-

soreinrichtung 2 nach Fig. 1 wurde davon ausgegangen, daß die zur Erzeugung eines zusätzlichen Biasfeldes an den einzelnen Brückenelementen E1 bis E4 herangezogenen Leiterbahnen L1 und L2 Anschlußleitungen an den Verzweigungspunkten V1 und V2 sind. Es ist jedoch auch möglich, die Leiterbahnen innerhalb der beiden Brückenarme Z1 und Z2 zur Erzeugung von zusätzlichen Biasfeldern an den Elementen heranzuziehen. Fig. 3 zeigt ein entsprechendes Ausführungsbeispiel einer Sensoreinrichtung 3. Hier verlaufen die von dem ersten Verzweigungspunkt V1 ausgehenden Leiterbahnen L3 und L4 der beiden Brückenarme Z1 und Z2 nicht unmittelbar zu dem jeweiligen Brückenelement E1 bzw. E4, sondern sind erst in Fig. 1 entsprechender Weise über die Elemente E2 und E1 bzw. E3 und E4 zur Erzeugung der zusätzlichen Biasfelder hinweggeführt. Damit ergeben sich andere Parameter der Gleichung

$$U_a(t) = U_{a0} + \sum_{i=1}^{\infty} U_i \sin(i\omega t + \varphi_i).$$

Die Rechenoperationen sind dann aber analog zu denen für die Sensoreinrichtung nach Fig. 1 vorzunehmen.

Die erfindungsgemäßen Sensoreinrichtungen können auch zu anderen Ausführungsformen gestaltet werden, bei denen der Meßstrom, die Feldstärke des Meßfeldes und die Empfindlichkeit der Brücke dermaßen kombiniert werden, daß das Biasfeld einen Brückenarm vom Zustand der reinen Winkelabhängigkeit in den Zustand kombinierter Feldstärkeabhängigkeit und Winkelabhängigkeit überführt. Aufgrund der vorteilhaften Modulation der Brückenspannung lassen sich daraus wiederum Zusatzinformationen durch analoge und/oder digitale Signalverarbeitung gewinnen, die die eindeutige Bestimmung einer Winkelposition mit GMR-Brückenelementen im Bereich  $0^\circ$  bis  $360^\circ$  zulassen.

#### Patentansprüche

1. Sensoreinrichtung zur Erfassung eines äußeren Magnetfeldes mit zu einer Brückenschaltung verschalteten, einen großen magnetoresistiven Effekt (GMR) zeigenden Brückenelementen in Dünnschichtaufbau, wobei die Brücke, über welche ein Brückenstrom zu führen ist, zwei Brückenarme aufweist, in denen sich jeweils mindestens zwei einen gemeinsamen Meßpunkt der Brücke bildende Brückenelemente mit vorbestimmten Magnetisierungen befinden, **dadurch gekennzeichnet**, daß zwei stromführende Leiterbahnen (L1, L2 oder L3, L4) vorgesehen sind, die jeweils
  - einem Brückenarm (Z1, Z2) zugeordnet sind,
  - nacheinander die Brückenelemente (E1 bis E4) jeweils unter einem vorbestimmten Winkel ( $\gamma_j$ ) bezüglich der Richtung der Magnetisierung ( $m_1$  bis  $m_4$ ) des jeweiligen Brückenelementes (E1 bis E4) schneiden und ein magnetisches Zusatzfeld ( $B_b$ ) hervorrufen
 sowie
  - den gesamten Brückenstrom ( $I$ ) oder dessen auf den jeweiligen Brückenarm (Z1, Z2) entfallenden Teil des Stromes führen.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in jedem Brückenarm (Z1, Z2) die Brückenelemente (E1 bis E4) entgegengesetzte Richtungen ihrer Magnetisierungen ( $m_1$  bis  $m_4$ ) aufweisen und mit dem jeweils diagonal zugeordneten Brückenelement aus dem jeweils anderen Brückenarm dieselbe Magnetisierungsrichtung haben.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-

kennzeichnet, daß eine periodische oder stufenförmige Modulation des Brückenstromes (I) und damit der an den Meßpunkten (P1, P2) abnehmbaren Brückenspannungen (U1, U2) vorgesehen ist.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (L1 bis L4) die Brückenelemente (E1 bis E4) bezüglich der jeweiligen Magnetisierungsrichtung unter einem Winkel ( $\gamma_j$ ) von größer  $10^\circ$  schneiden.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Schnittwinkel ( $\gamma_j$ ) von zumindest annähernd  $45^\circ + (j - 1) \cdot 90^\circ$  vorgesehen ist, wobei j der Numerierung der einzelnen Brückenelemente entspricht.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (L1, L2) mit Anschlußleitern der Brückenschaltung (S) an den Verzweigungspunkten (V1, V2) ihrer Brückenzweige (Z1, Z2) gebildet sind.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Leiterbahnen (L3, L4) mit Leiterbahnteilen der Brückenzweige (Z1, Z2) zwischen einem Brückenelement und dem zugeordneten Verzweigungspunkt (V1, V2) der Brückenzweige gebildet sind.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Brückenelemente (E1 bis E4) jeweils ein magnetoresistives Mehrschichtensystem aufweisen, das zumindest folgende Teile umfaßt, nämlich eine weichmagnetische Meßschicht, eine vergleichsweise magnetisch härtere Biasschicht oder einen entsprechenden Biasschichtteil sowie eine dazwischen angeordnete nicht-magnetische Zwischenschicht.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

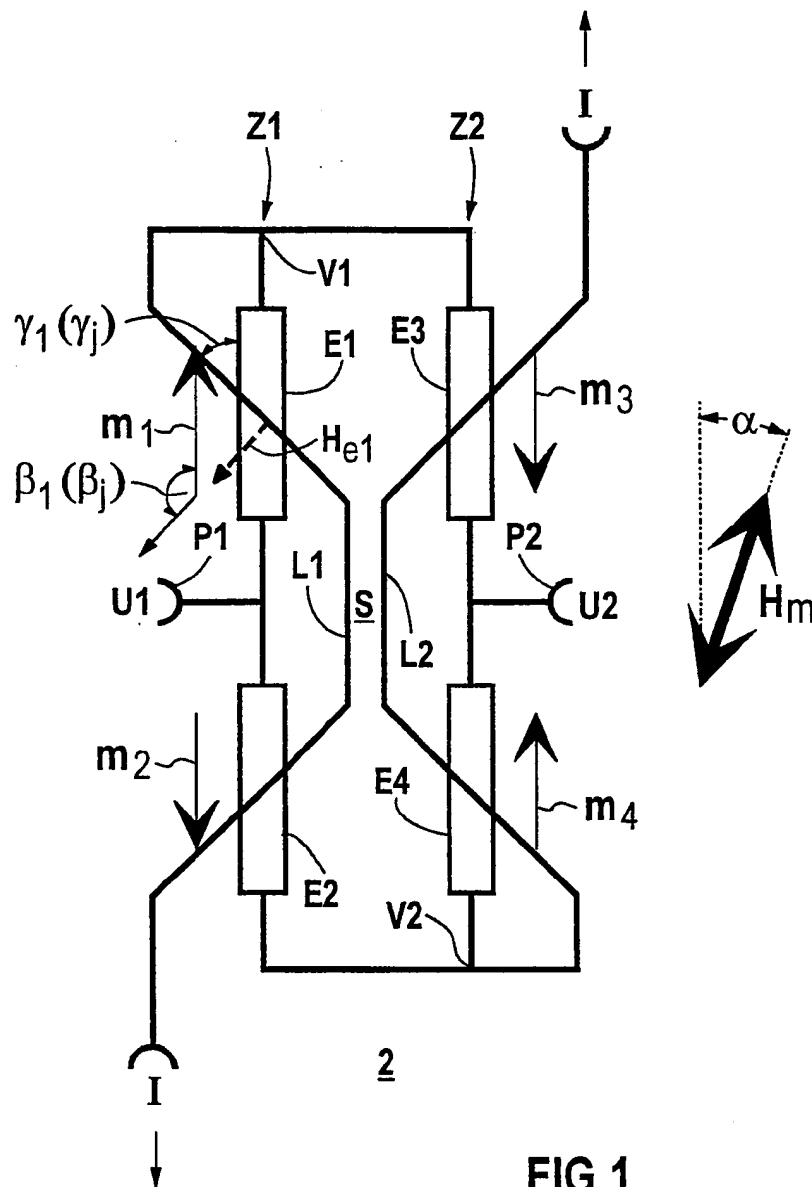
50

55

60

65

- Leerseite -



**FIG 1**

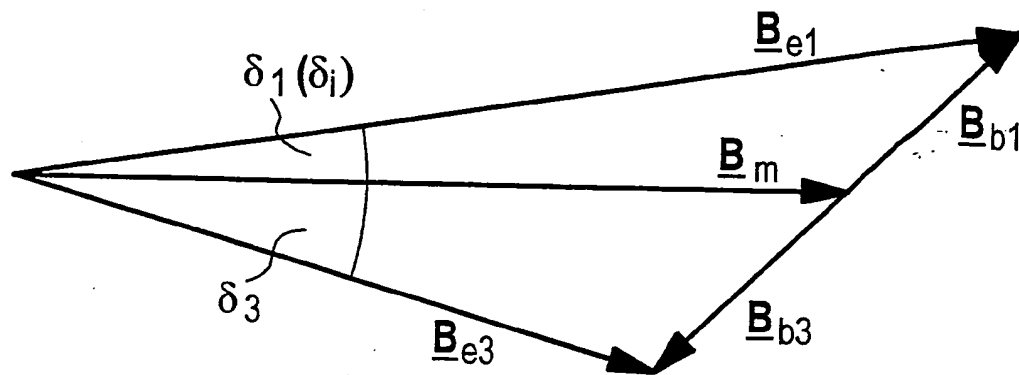


FIG 2

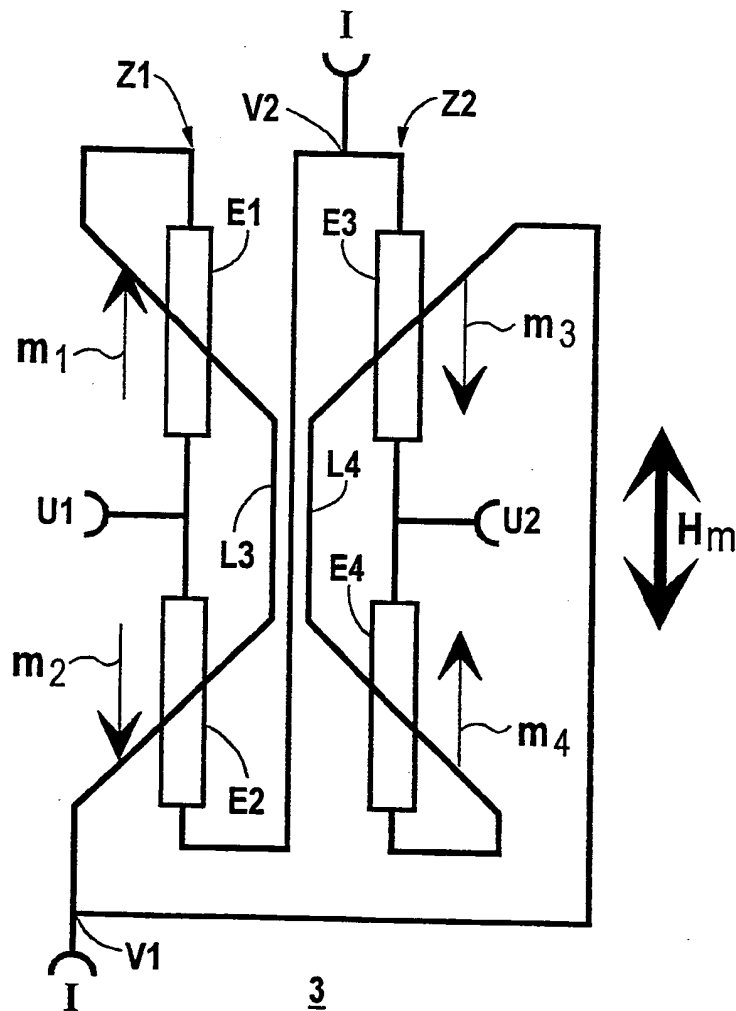


FIG 3